IRM III Diffusion Flair ADC et des trucs rigolos.

Je vous propose ci-dessous la suite de l’exploration des images IRM pour les non radiologues avec pour seul but de vous familiariser avec des termes ésotériques que vous pouvez voir dans les comptes rendus, en vous demandant pourquoi le radiologue vous parle mal.

On va voir le FLAIR, la diffusion, la cartographie de restriction ADC, le tenseur de diffusion et de la tractographie. Prenez un coca, il vous faudra au moins ça.



FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery).

Pour ce qui nous intéresse (c’est-à-dire essayer de comprendre le jargon IRM), une imagerie en FLAIR commence comme une imagerie en T2.

Vous basculez des culbutos et regardez comment leur mouvement de rotation se désynchronise en fonction de l’encombrement de leur environnement, pendant que simultanément les culbutos se redressent. Et cette image T2 ça donne çà : plus c’est liquidien, plus c’est blanc. La substance blanche (beaucoup de gras, peu d’eau) est très grise, la substance grise (moins de gras, plus d’eau) est gris plus clair, le LCR (que de l’eau) est blanc.

Si vous n’avez pas de chance, il se peut que vous ayez aussi un œdème localisé dans une région adjacente aux ventricules (à cause d’une tumeur, ou un AVC par exemple). Un œdème ça contient beaucoup d’eau, mais aussi des cellules endommagées et plein de protéines qui flottent de-ci de-là sans trop savoir pourquoi. Donc un œdème c’est plus riche en eau que la substance blanche, presque autant que le LCR mais pas tout à fait. En T2 il va apparaitre en blanc, un blanc presque aussi blanc que celui du LCR mais pas tout à fait. Autant dire, qu’à moins d’voir de bons yeux, vous ne ferez pas la différence entre cette région œdémateuse et les ventricules. C’est embêtant.

Pour être moins embêté, ce qui serait bien, c’est de trouver un truc pour que le LCR soit noir, sans que l’œdème ne change d’intensité ! Et bien c’est à ça que sert le FLAIR. Le LCR est un milieu homogène : en gros c’est de la flotte salée. C’est partout la même flotte, et elle est salée partout pareil. Donc les atomes d’hydrogène (les culbutos) qui constituent le LCR vont très peu se désynchroniser entre eux, et vont tous se redresser à la même vitesse. Si vous connaissez ces données (vitesse de désynchronisation et vitesse de redressement) , rien ne vous empêche de les aider un peu, en appliquant à vos molécules un champ magnétique d’intensité et direction habilement choisis, pour que ces atomes retrouvent leur position initiale… juste après la bascule initiale.

Que va-t-il se passer ? Lors de cette deuxième impulsion magnétique, les atomes d’hydrogène du LCR vont se retrouver immédiatement dans leur position initiale, comme si rien ne s’était passé pour eux (ni bascule, ni redressement). Les autres, vont revenir lentement à leur position initiale, plus ou moins vite selon l’encombrement de leur environnement (principe du T2).

En image qu’est-ce que cela donne ? La substance blanche (beaucoup de gras, peu d’eau) est très grise, la substance grise (moins de gras, plus d’eau) est gris plus clair ET le LCR (que de l’eau) est NOIR (car les atomes se comportent comme si ils n’avaient pas bougé).

C’est à ça que sert le FLAIR, en rendant artificiellement le LCR noir, cette séquence vous donne un très bon contraste pour les régions œdémateuses.

Résumons, nous, pour ce qui nous intéresse, le FLAIR n’apporte aucune information supplémentaire mais permet de mieux voir les œdèmes.

DIFFUSION

La diffusion est une imagerie un peu plus compliquée à expliquer que le T1 ou le T2 mais vous allez voir, ce n’est pas si horrible, et en plus ça donne des infos marrantes.

Pour comprendre continuons avec le culbuto, ou plutôt plein de culbutos. Dans les exemples précédents (T1 et T2), on basculait les culbutos tous en même temps et on regardait à quelle vitesse ils revenaient en position verticale (T1) ou à quelle vitesse le mouvement de rotation autour de leur axe se désynchronisait (T2). Cette fois-ci on va faire différemment. Au lieu d’appliquer un seul champ magnétique pour les basculer, on va

appliquer un gradient de champ. Imaginez-ça comme une main invisible qui, sur des culbutos sagement rangés en carrés de 10 sur 10, basculerait de 90° ceux du premier rang, de 80° ceux du deuxième, de 70° ceux du troisième rang, et ainsi de suite.

Puis vous appliquez un champ de gradient inverse. Cela revient à ramener à la verticale en les redressant de 90° les culbutos du premier rang, de 80° ceux du deuxième et ainsi de suite.

Quel intérêt me direz-vous ? Aucun si vos culbutos restent à leur place. Le culbuto du rang 1 position 3, va être basculé de 90° puis redressé de 90° ce qui fait qu'au terme de l'opération, il sera exactement dans sa position d'origine. Pareil pour celui du rang 4 position 8, qui va être basculé de 60° puis redressé de 60° pour revenir dans sa positon initiale.

Maintenant imaginons que certains culbutos bougent entre les deux bascules ! Prenons le culbuto du rang 1 position 2, et imaginons que pour une raison quelconque, une fois basculé, il se déplace jusqu'au rang 4 position 9. Lors de la bascule initiale, il s'est retrouvé incliné de 90°. Par contre lors du redressement, comme il est situé rang quatre, il ne sera redressé que de 60° (comme tous ceux de ce rang). A la fin de l'opération l'observateur que vous êtes, va constater que tous les culbutos sont de nouveau verticaux, sauf un qui est incliné de 30° (bascule de 90° puis redressage de 60°). Vous allez pouvoir en tirer deux conclusions : d'une part ce culbuto a bougé, et d'autre part, il s'est déplacé dans l'axe du gradient de trois rangs (10° par rang).

Et ce qui est sympa, c'est que vous pouvez reproduire l'opération dans d'autres directions. Par exemple de gauche à droite au lieu d'avant en arrière. Dans la même situation vous verriez que votre culbuto s'est déplacé du rang 2 à 9.

Waouh c'est super et alors ?

Pour que ce soit plus clair, mettons nous en situation.

Nous sommes à la phase aigüe d'un AVC (avant la 6éme heure). Les cellules saines sont saines. Les cellules de la zone en ischémie sont en train de s'œdèmatier (œdème cytotoxique) mais pour l'instant, si l'eau fuit à travers leur paroi perforée, elles n'ont pas encore augmenté massivement de volume.

En FLAIR, les zones saines vont apparaître en gris, et les zone en train de mourir… aussi. Ben oui, les cellules ont encore un volume normal. Le LCR lui va apparaitre en noir, bref le FLAIR va être normal ?

Par contre ne diffusion, les choses sont très différentes : l'eau de la substance grise et de la substance blanche s'agite doucement, les mouvements ne sont pas énormes. Les atomes d'hydrogène (culbutos) vont bouger un peu, mais pas énormément car ils sont enfermés dans la cellule. Ce « pas énormément » vous allez le représenter en gris.

Les cellules dans la zone ischémiée sont en train de mourir. Elles sont œdèmatiées et leur paroi se désagrège. L'eau de ces zones (œdème cytotoxique) bouge pas mal car elle a de la place. Les atomes d'hydrogène (culbutos) vont donc eux aussi pas mal se déplacer. Ce « pas mal » vous allez le représenter en blanc. L'eau de LCR bouge énormément et va apparaitre en blanc encore plus blanc mais comme rien ne vous empêche de faire comme sur une séquence FLAIR et virer ce signal, le LCR va apparaître en noir.

Bilan de la manœuvre, en diffusion l'œdème cytotoxique va apparaître en blanc et vous permettre, dans le cas d'une AVC aigu, de voir précocement les zones qui sont en train de mourir.

Notez bien, qu'au-delà de la 6 éme heure, les cellules ont fini de se tuméfier de se liquéfier, et leur contenu fuit massivement. Le FLAIR devient fortement positif et traduit un AVC dépassé. Cela vous explique pourquoi on ne thrombolyse pas en IV un patient dont l'IRM montre déjà des anomalies en FLAIR : ces anomalies témoignent d'un délai réel de début de l'AVC supérieur aux 4h30 pendant lesquelles la thrombolyse IV est possible. Phase aigüe d'une AVC (avant la 6 éme heure environ).

Et il y a deux bonus !

Bonus 1 : ADC

Reprenons notre situation : phase aigüe d'une AVC (avant la 6 éme heure environ). Les cellules dans la zone ischémie sont en train de mourir. Elles sont œdèmatiées et leur paroi se désagrège. En FLAIR, les zone saines sont grises (comme d'hab), les zones ischémiées sont… grises et le LCR est noir. En diffusion, l'eau de la substance grise et de la substance blanche s'agite doucement et ces deux structures vont apparaitre en gris. L'eau des zones ischémiée qui sont œdèmatiées bouge pas mal et va apparaitre en blanc. L'eau de LCR bouge énormément mais vous avez décidé de la virer et de la coder en noir.

Comme vous vous ennuyez, vous allez soustraire ces deux images l'une à l'autre, en partant du principe que noir ça vaut - 1, gris ça vaut 0 et blanc ça vaut 1.

Si vous faites ça avec les zones qui apparaissent en gris sur le FLAIR (donc codée 0) et celles qui apparaissent en gris sur la diffusion (donc codée également 0), vous obtenez 0 - 0 = 0 (je ne veux même pas savoir que vous avez pensé à autre chose).

Donc une région saine (grise) en FLAIR et une région saine (grise) en diffusion, va apparaitre en gris sur votre nouvelle image. Si vous faites la

même chose sur une zone ischémie œdèmatiées, vous avez quelque chose de gris en FLAIR (donc codé avec un 0), de blanc en diffusion (donc codé en 1), et comme 0 - 1 ça fait -1, vous obtenez quelque chose de noir sur votre nouvelle image.

Cette nouvelle image se nomme cartographie de restriction d'ADC pour Apparent Diffusion Coefficient. Elle vous sert à visualiser au mieux la zone d'œdème cytotoxique de la zone d'ischémie.

Mais Mais Mais, me diront ceux qui ont bien suivi, pourquoi s'embêter avec ça puisqu'en diffusion on voyait déjà très bien la zone œdèmatiées ischémiée ???

Bravo vous avez raisons. Dans la situation que je viens de vous décrire, l'ADC semble avoir peu d'intérêt.

Pour comprendre son utilité, mettons-nous dans une deuxième situation. Madame X enceinte, a un gros mal de tête et se met à convulser ! M'est avis que c'est pas bon. Elle doit faire une crise d'éclampsie. Et une éclampsie c'est moche car ça peut se compliquer de tout un tas de choses dont de gros AVC postérieurs qui rendent aveugles (sans même parler de trucs encore plus moches). Pour une raison qui n'appartient qu'à vous, vous lui faites une IRM. Au niveau de la zone d'eclampsie, les cellules sont à l'arrêt du fait de la crise comitiale sous-jacente et le milieu extracellulaire est œdèmatié du fait de l'arrêt fonctionnel des échanges des part et d'autre des membranes gliales. C'est un œdème vasogénque. En FLAIR vous avez donc des cellules saines en gris, des cellules qui souffrent entourée d'œdème en blanc et du LCR tout noir. C'est à dire que vous avec une imagerie FLAIR absolument identique à celle d'une AVC dépassé où les cellules auraient fini d'exploser pour répandre leur précieux contenu un peu partout.

En diffusion les choses sont différentes. L'eau de l'œdème vasogenique à une liberté de mouvement énorme puisqu'elle est extracellulaire. Elle se comporte presque comme du LCR, or le LCR vous avez décidé de pas le voir. Donc la diffusion est quasi normale (si on code comme dans l'exemple ci-dessus on aurait du 0,8). Si comme tout à l'heure vous vous amusez (alors que vous devriez vous occupez de l'éclampsie, mais bon ça c'est votre affaire), à soustraire les deux images, vous avez des zones saines en gris sur les deux séquences (0 - 0) qui restent grises (0), vous avez une zone de cellules cernées d'œdème qui apparaît blanche en FLAIR (1), et, cette même zone, qui apparait en gris clair (0,8) sur la diffusion. La soustraction des deux (1 - 0,8 = 0,2), vous donne quelque chose de proche de 0 soit une nuance de gris. Dans cet exemple l'ADC ne devient pas noir, ce qui vous indique que vous avez à faire à une œdème vasogénique, qui, bonne nouvelle pour votre patient, est réversible (si vous arrêtez de jouer avec l'IRM et allez la soigner).

Bonus 2 : ESOTERISME ET TRACTOGRAPHIE

Ce deuxième, bonus c'est pour frimer en société car pour l'instant il n'est pas du tout d'usage courant. En lisant mon exemple avec les culbutos, vous vous êtes peut êtes demandé pourquoi j'insistais sur le fait qu'il étaient en carré de 10 sur 10 et que le culbuto qui bouge, se déplace de 3 rangs en arrière et de 7 rangs de gauche à droite. Après tout, si je vous avais donné comme exemple une seule ligne de culbutos, vous auriez compris tout aussi bien et peut être même plus rapidement.

Le truc à comprendre, c'est que selon comment vous orientez le gradient du champ de bascule et de redressement par rapport au mouvement réel du culbuto, vous enregistrez une distance de déplacement différente. Dans mon exemple, le culbuto se déplace de 3 unités d'avant en arrière, de 7 unités de gauche à droite. Dans un champ dont le gradient serait parallèle à son déplacement en diagonale, le mouvement enregistré serait de 7,6 unités (merci Pythagore) et dans un champ perpendiculaire à son déplacement le mouvement enregistré serait de 0 unité.

En conclusion si vous étudiez une structure qui aurait la bonne idée de contenir en elle des molécules d'eau qui suivent un trajet préférentiel d'un point A vers un point B, vous pourriez, en appliquant des champs de gradient d'orientations différentes, déduire le chemin entre A et B….

Votre cerveau fume… si si je vous assure, je le vois à travers le temps et l'espace qui nous sépare. On va simplifier : imaginez un truc que les neurologues aiment bien : un neurone. Il est composé d'un corps cellulaire duquel émergent de looooongs tentacules, dont un particulièrement long que l'on nomme axone. A l'intérieur de l'axone, il y a un fluide formé de divers matériaux et d'eau, qui s'écoule lentement du corps du neurone, vers l'extrémité de l'axone. D'un point A vers un point B en quelque sorte.

Si vous étudiez ce neurone avec plusieurs champs de gradient dont vous modifiez l'orientation, vous allez pouvoir visualiser dans l'espace la localisation du point A et du point B, ainsi que de tous les points intermédiaires selon la précisons de votre machine et du temps dont vous disposez. Disons-le tout net, voir UN axone, n'est pas possible sur des IRM conventionnelles en 2014. Par contre, des faisceaux d'axones qui vont dans le même sens, c'est-à-dire des fibres de substance blanche, ça ne pose pas de problème.

Cette technique d'imagerie dérivée de la diffusion se nomme DTI ou Diffusion Tensor Imaging, et l'imagerie en 3D des fibres dans le but de comprendre quelle fibre quelle connecte quelle structure, se nomme tractographie. En image ça donne ça :http://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion_MRI#mediaviewer/File:DTI-sagittal-fibers.jpg